

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-086175

(43)Date of publication of application : 30.03.2001

(51)Int.Cl.

H04L 27/06  
H04N 5/455

(21)Application number : 11-262804

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO  
LTD

(22)Date of filing : 16.09.1999

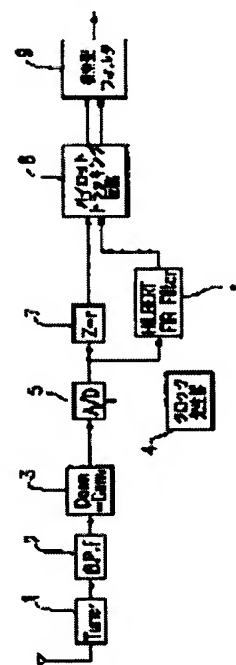
(72)Inventor : KATO HISAYA

## (54) VSB DEMODULATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a VSB demodulator for a digital television signal receiver that excludes deterioration causes to such as orthogonality of a  $\pi/2$  phase shifter and a temperature characteristic in an analog circuit.

SOLUTION: The VSB demodulator is provided with a tuner 1 that receives an RF signal subjected to digital VSB demodulation and converts it into an IF signal, a band pass filter 2, a down-converter 3 that converts the IF signal being an output of the tuner into a signal with a lower frequency band, a clock generator 4 that generates a clock whose frequency is a multiple of a symbol frequency, an A/D converter 5, a Hilbert filter 6 that generates a quadrature component of the received signal, a delay device 7 that matches a timing of an in-phase component of the received signal with that of the quadrature component, a pilot tracking circuit 8 that tracks a pilot signal included in a VSB modulation wave to convert the signal into a base band signal, and a complex filter 9 that conducts spectrum shaping and VSB demodulation.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-86175  
(P2001-86175A)

(43)公開日 平成13年3月30日(2001.3.30)

(51)Int.Cl.

識別記号

F 1

テロップ(参考)

H 0 4 L 27/06

H 0 4 L 27/06

C

H 0 4 N 5/455

H 0 4 N 5/455

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平11-262804

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

(22)出願日 平成11年9月16日(1999.9.16)

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 加藤 久也

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

(74)代理人 100078282

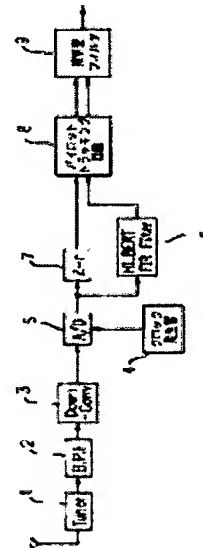
弁理士 山本 秀策

(54)【発明の名称】 VSB復調器

(57)【要約】

【課題】  $n/2$  位相器の直交性やアナログ回路の温度特性等の劣化要因を排除したディジタルテレビジョン信号受信機のVSB復調器。

【解決手段】 ディジタルVSB変調されたRF信号を受信しIF信号に変換するチューナ1と、バンドパスフィルタ2と、チューナ出力のIF信号をより低い周波数帯に変換するダウンコンバータ3と、シンボル周波数の通信のクロックを発生するクロック発生器4と、A/D変換器5と、受信信号の直交成分を作り出すヒルベルトフィルタ6と、受信信号の同相成分のタイミングを直交成分に合わせる遅延器7と、VSB変調波に含まれるパイロット信号にトラッキングして信号をベースバンドに変換するパイロットトラッキング回路8と、スペクトル整形とVSB復調を行う複素型フィルタ9とを備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 パイロット信号を含むディジタルVSB変調波を復調するVSB復調器であって、入力されるディジタル化VSB変調波のディジタル検波を行うディジタル検波部を備え、

前記ディジタル検波部は、前記パイロット信号の周波数を中心周波数として任意の周波数の信号を出力する数値制御発振器と、前記数値制御発振器が出力する前記周波数信号を用いて前記ディジタル化したVSB変調波をベースバンド信号に変換するベースバンド変換器とを有し、前記数値制御発振器が出力する周波数信号と前記パイロット信号との周波数ずれおよび位相ずれに関する情報を前記数値制御発振器に入力することにより前記数値制御発振器が前記パイロット信号にトラッキングし、トラッキングした前記数値制御発振器が出力する前記周波数信号を前記ベースバンド変換器にフィードバックすることによりディジタル検波を行うVSB復調器。

【請求項 2】 前記周波数ずれおよび前記位相ずれを、逆ナイキストフィルタを用いて抽出する請求項 1 に記載のVSB復調器。

【請求項 3】 パイロット信号を含むディジタルVSB変調波を復調するVSB復調器であって、前記VSB変調波からシンボル周波数の逡倍のクロックを発生して出力するクロック発生器と、前記クロックのタイミングで前記VSB変調波をディジタル信号に変換して出力するA/D変換器と、前記ディジタル信号の直交成分を作り出して出力するヒルベルトフィルタと、前記ディジタル信号の同相成分を前記ヒルベルトフィルタから出力される前記直交成分にタイミングを合わせて出力する遅延器と、前記パイロット信号にトラッキングすることにより前記同相成分と前記直交成分とをベースバンド信号にそれぞれ変換して出力するパイロットトラッキング回路と、前記ベースバンド信号にスペクトル整形およびVSB復調を行って出力する複素型フィルタと、を備えるVSB復調器。

【請求項 4】 パイロット信号を含むディジタルVSB変調波を復調するVSB復調器であって、前記VSB変調波からシンボル周波数の逡倍のクロックを発生して出力するクロック発生器と、前記クロックのタイミングで前記VSB変調波をディジタル信号に変換して出力するA/D変換器と、前記ディジタル信号の直交成分を作り出して出力するヒルベルトフィルタと、前記ディジタル信号の同相成分を前記ヒルベルトフィルタから出力される前記直交成分にタイミングを合わせて出力する遅延器と、前記同相成分と前記直交成分とにスペクトル整形および

VSB復調を行ってそれぞれ出力する複素型フィルタと、

前記パイロット信号にトラッキングすることにより前記複素型フィルタからの出力信号をベースバンド信号に変換して出力するパイロットトラッキング回路と、を備えるVSB復調器。

【請求項 5】 前記パイロットトラッキング回路は、複素乗算器と、ナイキスト特性とは逆の周波数特性を有する逆ナイキストフィルタと、周波数ずれおよび位相ずれを検出する誤差検出器と、入力される信号を平滑化するループフィルタと、前記パイロット信号の周波数を中心周波数として任意の周波数の信号を出力する数値制御発振器と、を備え、

前記パイロットトラッキング回路への入力信号と、前記数値制御発振器からの周波数信号とを前記複素乗算器が乗算して出力し、前記逆ナイキストフィルタでフィルタリングされた前記複素乗算器の出力信号に含まれる前記パイロットパイロット信号と前記数値制御発振器からの周波数信号との周波数ずれおよび位相ずれを前記誤差検出器が検出し、前記周波数ずれおよび前記位相の誤差情報を前記ループフィルタに出力し、前記ループフィルタが前記誤差情報を平滑化し、制御信号として前記数値制御発振器に出力し、前記数値制御発振器が前記制御信号によって前記パイロット信号にトラッキングすることにより、前記パイロットトラッキング回路への入力信号をベースバンド信号に変換して前記複素乗算器から出力する請求項 3 または請求項 4 に記載のVSB復調器。

【請求項 6】 前記複素フィルタは、前記同相成分のベースバンド信号にナイキスト第2基準のロールオフ特性とVSB変調のためのナイキスト処理用特性をもつ伝達関数であるFIRフィルタのREAL部の係数を乗算し、前記直交成分のベースバンド信号に前記FIRフィルタのIMAGE部の係数を乗算し、前記REAL部の係数の乗算結果から前記IMAGE部の係数の乗算結果を減算することにより、前記同相成分のベースバンド信号のスペクトル整形およびVSB復調を行う請求項 3 に記載のVSB復調器。

【請求項 7】 前記複素型フィルタは、前記同相成分にナイキスト第2基準のロールオフ特性とVSB変調のためのナイキスト処理用特性をもつ伝達関数であるFIRフィルタのREAL部の係数を乗算することにより前記同相成分のスペクトル整形およびVSB復調を行い、前記直交成分に前記FIRフィルタのIMAGE部の係数を乗算することにより前記直交成分のスペクトル整形およびVSB復調を行う請求項 4 に記載のVSB復調器。

【請求項 8】 パイロット信号を含むディジタルVSB変調波を復調するVSB復調器であって、

前記VSB変調波からシンボル周波数の逡倍のクロックを発生して出力するクロック発生器と、  
前記クロックのタイミングで前記VSB変調波をディジタル信号に変換して出力するA/D変換器と、  
前記パイロット信号の周波数を中心周波数として任意の周波数の信号のcos成分とsin成分とを出力する数値制御発振器と、  
前記ディジタル信号と前記周波数信号のcos成分とを乗算して出力する第1の乗算器と、  
前記ディジタル信号と前記周波数信号のsin成分とを乗算して出力する第2の乗算器と、  
前記第1の乗算器の出力信号と前記第2の乗算器の出力信号とのそれぞれにスペクトル整形およびVSB復調を行って出力する複素型フィルタと、  
振幅特性としてナイキスト特性とは逆の周波数特性を持ち、前記複素型フィルタの出力信号をフィルタリングして出力する逆ナイキストフィルタと、  
前記逆ナイキストフィルタの出力信号から前記パイロット信号と前記数値制御発振器の出力信号との周波数ずれおよび位相ずれを検出して出力する誤差検出器と、  
前記誤差検出器の出力信号を平滑化し前記数値信号発振器に制御信号として出力するループフィルタと、  
を備えるVSB変調器。

【請求項 9】 前記複素フィルタは、第1の乗算器の出力信号にナイキスト第2基準のロールオフ特性とVSB変調波のためのナイキスト処理用特性をもつ伝達関数であるFIRフィルタのREAL部の係数を乗算し、第2の乗算器の出力信号に前記FIRフィルタのIMAGE部の係数を乗算し、前記REAL部の係数の乗算結果から前記IMAGE部の係数の乗算結果を減算することにより第1の乗算器の出力信号のスペクトル整形およびVSB復調を行い、前記REAL部の乗算結果と前記IMAGE部の乗算結果とを加算することにより第2の乗算器の出力信号のスペクトル整形およびVSB復調を行う請求項8に記載のVSB復調器。

【請求項 10】 パイロット信号を含むディジタルVSB変調波を受信して復調するVSB復調器であって、  
前記VSB変調波のRF信号を受信しIF信号に変換して出力するチューナと、  
前記IF信号からシンボル周波数の逡倍のクロックを発生して出力するクロック発生器と、  
前記クロックのタイミングで前記IF信号をディジタル信号に変換して出力するA/D変換器と、  
前記ディジタル信号の直交成分を作り出して出力するヒルベルトフィルタと、  
前記ディジタル信号の同相成分を前記ヒルベルトフィルタから出力される直交成分にタイミングを合わせて出力する遅延器と、  
前記パイロット信号にトラッキングすることにより前記同相成分と前記直交成分とをベースバンド信号に変換し

てそれぞれ出力するパイロットトラッキング回路と、  
前記ベースバンド信号にスペクトル整形およびVSB復調を行って出力する複素フィルタと、  
を備えるVSB復調器。

#### 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、テレビジョン信号送信システムに関し、特にVSB復調方式を用いたディジタルテレビジョン信号受信装置のVSB復調器に関する。

【0002】

【従来の技術】従来のVSB復調器としては、特開平7-326951号公報に記載されたものが知られている。

【0003】図15に、上記公報に開示されたVSB復調器の構成を示す。この図に示すように従来のVSB復調器は、受信されたディジタルVSB変調波のRF信号を局部発振器131と乗算器132を用いてIF信号に変換する。このIF信号は局部発振器133の出力信号と乗算器134によって同相チャネルのベースバンド信号に変換され、また局部発振器133と $\pi/2$ 位相器135と乗算器136によって直交チャネルのベースバンド信号に変換される。そして、ベースバンド信号はローパスフィルタ137、138で高周波を抑制された後、A/D変換器139、140によってディジタル信号に変換され、ベースバンドフィルタ141、142により波形整形され、加算器143でVSB信号に復調される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来のVSB復調器においては、 $\pi/2$ 位相器を用いたアナログ回路で信号処理するために、 $\pi/2$ 位相器の直交性やアナログ回路による温度特性などの劣化要因の補償が要求されるという課題がある。

【0005】本発明では、従来の復調器で問題となるこのような課題を考慮し、VSB復調にディジタル検波方式を用いて、 $\pi/2$ 位相器の直交性やアナログ回路による温度特性などの劣化要因が発生しないVSB復調器を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明のVSB復調器は、パイロット信号を含むディジタルVSB変調波を復調するVSB復調器であって、前記パイロット信号の周波数を中心周波数として任意の周波数の信号を出力する数値制御発振器を備え、ディジタル変換された前記VSB変調波の同相成分と直交成分とに、前記数値制御発振器の出力する周波数信号が乗算され、前記周波数信号が乗算された信号から検出される前記周波数信号と前記パイロット信号との周波数ずれおよび位相ずれに基づいて前記制御発振器が前記パイロット信号にトラッキング

し、前記パイロット信号にトラッキングした前記数値制御発振器の出力を前記周波数信号としてフィードバックすることによりディジタル検波を行い、これにより上述の目的が達成される。

【0007】前記周波数ずれおよび前記位相ずれを、逆ナイキストフィルタを用いて抽出してもよい。

【0008】本発明のVSB復調器は、パイロット信号を含むディジタルVSB変調波を復調するVSB復調器であって、前記VSB変調波からシンボル周波数の通信のクロックを発生して出力するクロック発生器と、前記クロックのタイミングで前記VSB変調波をディジタル信号に変換して出力するA/D変換器と、前記ディジタル信号の直交成分を作り出して出力するヒルベルトフィルタと、前記ディジタル信号の同相成分を前記ヒルベルトフィルタから出力される前記直交成分にタイミングを合わせて出力する遅延器と、前記パイロット信号にトラッキングすることにより前記同相成分と前記直交成分とをベースバンド信号にそれぞれ変換して出力するパイロットトラッキング回路と、前記ベースバンド信号にスペクトル整形およびVSB復調を行って出力する複素型フィルタとを備えている。このように構成したVSB復調器によれば、周波数の自動制御および位相の自動制御をディジタル処理のみで実現できるので、アナログ回路に起因する $\pi/2$ 位相器の直交性や温度特性などの劣化要因が発生しないばかりでなく、ループ遅延が強い際ので高速動作が可能である。また、検波する前にA/D変換を行うためA/D変換器が1つだけでよく、回路を小規模化することができる。さらに、複素型フィルタには周波数誤差および位相誤差が内蔵で入力されるため、より正確なスペクトル整形が可能である。

【0009】本発明のVSB復調器は、パイロット信号を含むディジタルVSB変調波を復調するVSB復調器であって、前記VSB変調波からシンボル周波数の通信のクロックを発生して出力するクロック発生器と、前記クロックのタイミングで前記VSB変調波をディジタル信号に変換して出力するA/D変換器と、前記ディジタル信号の直交成分を作り出して出力するヒルベルトフィルタと、前記ディジタル信号の同相成分を前記ヒルベルトフィルタから出力される前記直交成分にタイミングを合わせて出力する遅延器と、前記同相成分と前記直交成分とにスペクトル整形およびVSB復調を行ってそれぞれ出力する複素型フィルタと、前記パイロット信号にトラッキングすることにより前記複素型フィルタからの出力信号をベースバンド信号に変換して出力するパイロットトラッキング回路とを備えている。このように構成したVSB復調器によれば、周波数の自動制御および位相の自動制御をディジタル処理のみで実現できるので、アナログ回路に起因する $\pi/2$ 位相器の直交性や温度特性などの劣化要因が発生しないばかりでなく、ループ遅延が強い際ので高速動作が可能である。また、検波する前

にA/D変換を行うためA/D変換器が1つだけでよく、回路を小規模化することができる。さらに、ベースバンド信号に変換する前に複素フィルタでフィルタリングされるので、隣接チャネルに妨害波がある場合に、より強力に妨害波を抑制することができる。

【0010】前記パイロットトラッキング回路は、複素数乗算器と、ナイキスト特性とは逆の周波数特性を有する逆ナイキストフィルタと、周波数ずれおよび位相ずれを検出する誤差検出器と、入力される信号を平滑化するループフィルタと、前記パイロット信号の周波数を中心周波数として任意の周波数の信号を出力する数値制御発振器とを備え、前記パイロットトラッキング回路への入力信号と、前記数値制御発振器からの周波数信号とを前記複素乗算器が乗算して出力し、前記逆ナイキストフィルタでフィルタリングされた前記複素乗算器の出力信号に含まれる前記パイロット信号と前記数値制御発振器からの周波数信号との周波数ずれおよび位相ずれを前記誤差検出器が検出し、前記周波数ずれおよび前記位相の誤差情報を前記ループフィルタに出力し、前記ループフィルタが前記誤差情報を平滑化し、制御信号として前記数値制御発振器に出力し、前記数値制御発振器が前記制御信号によって前記パイロット信号にトラッキングすることにより、前記パイロットトラッキング回路への入力信号をベースバンド信号に変換して前記複素乗算器から出力してもよい。このように構成したパイロットトラッキング回路によれば、VSB復調器のパイロットトラッキング回路を好適に実現することができる。また、周波数ずれおよび位相ずれの抽出に逆ナイキストフィルタを用いているので、トラッキングする周波数範囲にかたよりを防止することができる。

【0011】前記複素フィルタは、前記同相成分のベースバンド信号にナイキスト第2基準のロールオフ特性とVSB変調のためのナイキスト処理用特性をもつ伝達関数であるFIRフィルタのREAL部の係数を乗算し、前記直交成分のベースバンド信号に前記FIRフィルタのIMAGINE部の係数を乗算し、前記REAL部の係数の乗算結果から前記IMAGINE部の係数の乗算結果を減算することにより、前記同相成分のベースバンド信号のスペクトル整形およびVSB復調を行ってもよい。このように構成した複素フィルタによれば、VSB復調器の複素フィルタを好適に実現することができる。

【0012】前記複素型フィルタは、前記同相成分にナイキスト第2基準のロールオフ特性とVSB変調のためのナイキスト処理用特性をもつ伝達関数であるFIRフィルタのREAL部の係数を乗算することにより前記同相成分のスペクトル整形およびVSB復調を行い、前記直交成分に前記FIRフィルタのIMAGINE部の係数を乗算することにより前記直交成分のスペクトル整形およびVSB復調を行ってもよい。このように構成した複素フィルタによれば、減算器が必要ないので回路の小規

模化を図ることができる。

【0013】本発明のVSB復調器は、パイロット信号を含むデジタルVSB変調波を復調するVSB復調器であって、前記VSB変調波からシンボル周波数の逡倍のクロックを発生して出力するクロック発生器と、前記クロックのタイミングで前記VSB変調波をデジタル信号に変換して出力するA/D変換器と、前記パイロット信号の周波数を中心周波数として任意の周波数の信号のcos成分とsin成分とを出力する数値制御発振器と、前記デジタル信号と前記周波数信号のcos成分とを乗算して出力する第1の乗算器と、前記デジタル信号と前記周波数信号のsin成分とを乗算して出力する第2の乗算器と、前記第1の乗算器の出力信号と前記第2の乗算器の出力信号とのそれぞれにスペクトル整形およびVSB復調を行って出力する複素型フィルタと、振幅特性としてナイキスト特性とは逆の周波数特性を持ち、前記複素型フィルタの出力信号をフィルタリングして出力する逆ナイキストフィルタと、前記逆ナイキストフィルタの出力信号から前記パイロット信号と前記数値制御発振器の出力信号との周波数ずれおよび位相ずれを検出して出力する誤差検出器と、前記誤差検出器の出力信号を平滑化し前記数値信号発振器に制御信号として出力するループフィルタとを備えている。このように構成したVSB復調器によれば、周波数の自動制御および位相の自動制御をデジタル処理のみで実現できるので、アナログ回路に起因する $\pi/2$ 位相器の直交性や温度特性などの劣化要因が発生しないばかりでなく、ループ遅延が強い際ので高速動作が可能である。検波する前にA/D変換を行うためA/D変換器が1つだけでよく、回路を小規模化することができる。また、複素数フィルタには周波数誤差および位相誤差が内蔵で入力されるため、より正確なスペクトル整形が可能である。さらに、複素乗算器に代えて乗算器を用いるので、回路の小規模化を図ることができる。

【0014】前記複素フィルタは、第1の乗算器の出力信号にナイキスト第2基準のローパス特性とVSB変調波のためのナイキスト処理用特性をもつ伝達関数であるFIRフィルタのREAL部の係数を乗算し、第2の乗算器の出力信号に前記FIRフィルタのIMAGINE部の係数を乗算し、前記REAL部の係数の乗算結果から前記IMAGINE部の係数の乗算結果を演算することにより第1の乗算器の出力信号のスペクトル整形およびVSB復調を行い、前記REAL部の乗算結果と前記IMAGINE部の乗算結果とを加算することにより第2の乗算器の出力信号のスペクトル整形およびVSB復調を行ってもよい。このように構成した複素フィルタによれば、VSB復調器の複素フィルタを好適に実現することができる。

【0015】本発明のVSB復調器は、パイロット信号を含むデジタルVSB変調波を受信して復調するVSB

B復調器であって、前記VSB変調波のRF信号を受信し、F信号に変換して出力するチューナと、前記F信号からシンボル周波数の逡倍のクロックを発生して出力するクロック発生器と、前記クロックのタイミングで前記F信号をデジタル信号に変換して出力するA/D変換器と、前記デジタル信号の直交成分を作り出して出力するヒルベルトフィルタと、前記デジタル信号の同相成分を前記ヒルベルトフィルタから出力される直交成分にタイミングを合わせて出力する遅延器と、前記パイロット信号にトラッキングすることにより前記同相成分と前記直交成分とをベースバンド信号に変換してそれぞれ出力するパイロットトラッキング回路と、前記ベースバンド信号にスペクトル整形およびVSB復調を行って出力する複素フィルタとを備えている。このように構成したVSB復調器によれば、周波数の自動制御および位相の自動制御をデジタル処理のみで実現できるので、アナログ回路に起因する $\pi/2$ 位相器の直交性や温度特性などの劣化要因が発生しないばかりでなく、ループ遅延が強い際ので高速動作が可能である。検波する前にA/D変換を行うためA/D変換器が1つだけでよく、回路を小規模化することができる。また、複素数フィルタには周波数誤差および位相誤差が内蔵で入力されるため、より正確なスペクトル整形が可能である。さらに、A/D変換器にはチューナの出力信号であるF信号がそのまま入力されるので、より低い周波数帯に変換するダウンコンバータが必要なく、回路の更なる小規模化を図ることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下に、本発明をその実施の形態を示す図面に基いて説明する。

【0017】（実施の形態1）図1は、本発明の実施の形態1のVSB復調器のブロック構成図である。この図に示すように、実施の形態1のVSB復調器は、デジタルVSB変調されたRF信号を受信しF信号に変換するチューナ1と、バンドパスフィルタ2と、チューナ出力のF信号をより低い周波数帯に変換するダウンコンバータ3と、シンボル周波数の逡倍のクロックを発生するクロック発生器4と、アナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換器5と、受信信号の直交成分を作り出すヒルベルトフィルタ6と、受信信号の同相成分のタイミングを直交成分に合わせる遅延器7と、VSB変調波に含まれるパイロット信号にトラッキングすることによりベースバンドに変換するパイロットトラッキング回路8と、スペクトル整形とVSB復調を行う複素型フィルタ9とを備えている。

【0018】以上のように構成されたVSB復調器について、以下にその動作を説明する。まず、チューナ1がデジタルVSB変調されたRF信号を受信し、これをF信号に変換してバンドパスフィルタ2に出力する。バンドパスフィルタ2は、F信号に含まれる余分なス

プリアス信号を除去してダウンコンバータ3に出力する。ダウンコンバータ3は、1F信号をより低い周波数帯に変換し、これを第2の1F信号としてA/D変換器5に出力する。A/D変換器5は、クロック発生器4からシンボル周波数の整数倍のクロック信号を受け取り、このクロック信号のタイミングに合わせてアナログ信号である1F信号をデジタル信号に変換し、遅延器7およびヒルベルトフィルタ6のそれぞれに出力する。なお、クロック発生器4は、クロック再生が行われたシンボル周波数の信号と同期した通信のシンボル周波数の信号をA/D変換器5に出力する。ヒルベルトフィルタ6は、入力されたデジタル信号、つまり1F信号に対する直交成分を作りだしてパイロットトラッキング回路8に出力する。遅延器7は、A/Dにより入力されるデジタル信号、つまり1F信号の同相成分を遅延させることにより、ヒルベルトフィルタ6からパイロットトラッキング回路8に出力される直交成分にタイミングを合わせて同相成分をパイロットトラッキング回路8に出力する。パイロットトラッキング回路8は、VSB変調波に含まれるパイロット信号にトラッキングすることにより、遅延器7より入力される同相成分とヒルベルトフィルタ6より入力される直交成分とのそれぞれをベースバンド信号に変換して複素型フィルタ9に出力する。複素型フィルタ9は、パイロットトラッキング回路8より入力された同相成分と直交成分とに対してスペクトル整形を行い、さらに、VSB復調を行ってVSB復調データとして出力する。

【0019】次に、パイロットトラッキング回路8の構成例を図5を用いて説明する。図5に示すように、パイロットトラッキング回路8は、複素乗算器51と、数値制御発振器52と、ナイキスト特性とは逆の周波数特性をもつ逆ナイキストフィルタ53と、誤差検出器54と、ループフィルタ55とを備えている。

【0020】以上のように構成されたパイロットトラッキング回路8について、以下にその動作を説明する。まず、遅延器7からのVSB変調波の同相成分とヒルベルトフィルタ6からのVSB変調波の直交成分とが複素乗算器51に入力される。また、複素乗算器51には、数値制御発振器52よりVSB変調波に含まれるパイロット信号の周波数を中心周波数として周波数信号が入力される。複素乗算器51は、同相成分と直交成分とのそれぞれに対して数値制御発振器52から入力される周波数信号を乗算することによりベースバンド信号に変換してそれぞれ出力する。複素乗算器51から出力されたベースバンド信号は、逆ナイキストフィルタ53、誤差検出器54、ループフィルタ55、数値制御発振器52を含むフィードバック回路部にも入力される。逆ナイキストフィルタ53は、VSB変調波に含まれるパイロット信号と数値制御発振器52の出力信号との周波数および位相のずれ成分を含む信号を誤差検出器54に出力する。

(逆ナイキストフィルタによる)誤差検出器54は、逆ナイキストフィルタ53より入力された信号に含まれる周波数および位相のずれを誤差としてそれぞれ検出し、その誤差情報をループフィルタ55に出力する。ループフィルタ55は、入力された誤差情報を平滑化して数値制御発振器52に制御信号として出力する。制御信号が入力されることにより数値制御発振器52がVSB変調波に含まれるパイロット信号にトラッキングする。パイロット信号にトラッキングした数値制御発振器52は、上述のように、パイロット信号の周波数を中心周波数として周波数信号を複素乗算器51に出力する。

【0021】逆ナイキストフィルタ53が有する振幅特性を図6に示す。

【0022】次に、複素型フィルタ9の構成例を図7を用いて説明する。この図に示すように、複素型フィルタ9は、FIRフィルタのREAL部係数71と、FIRフィルタのIMAG部係数72と、減算器73とを備えている。このように構成された複素型フィルタ9の動作を以下に説明する。VSB変調波の同相成分のベースバンド信号にFIRフィルタのREAL部の係数71が乗算されたものと、VSB変調波の直交成分のベースバンド信号にFIRフィルタのIMAG部の係数72が乗算されたものとが減算器73に入力される。減算器73は、同相成分のベースバンド信号から直交成分のベースバンド信号を減算してスペクトル整形とVSB復調を行ったVSB復調データを出力する。

【0023】複素型フィルタ9としては、例えば米国で現在行われているデジタル地上波放送で使用される図10に示すような振幅特性を有するフィルタが適用でき、FIRフィルタの伝達関数は、ナイキスト第2基準のロールオフ特性とVSB変調波のためのナイキスト処理用特性を示している。なお、FIRフィルタを多重化構成としてもよい。

【0024】次に、誤差検出器54について説明する。逆ナイキストフィルタ53からの出力信号にはVSB変調波のパイロット信号と数値制御発振器の出力信号の周波数ずれと位相ずれがビート信号として現われるので、図12に示すように1-Q直交軸上にビート信号のシンボル点が現れる。なお、1軸は同相成分のずれを示し、Q軸は直交成分のずれを示している。誤差検出器54は、このシンボル点の情報を誤差検出情報として出力するが、シンボル点を表す値として $\tan^{-1}(Y/X)$ が用いられる。周波数ずれおよび位相ずれがない状態は、 $\theta = 0$ 、すなわち $\tan^{-1}(Y/X) = 0$ として出力される。

【0025】次に、A/D変換器5に入力されるVSB変調波とクロック信号の周波数関係の例を図13を用いて説明する。ダウンコンバータ3で第2の1F信号に変換されたVSB変調波の中心周波数をシンボル周波数(以下、 $f_s$ ) / 2とすると、クロック周波数はその4



倍の周波数である $2f_s$ となる。つまり、A/D変換器5に入力される第2のIF信号がクロック周波数の $1/2$ 以下となればよい。

【0026】以上のように、本実施の形態のVSB変調器によれば、周波数を自動的に制御する（以下、「AFC」と呼ぶ。）部分と、位相を自動的に制御する（以下、「APC」と呼ぶ。）部分との動作をデジタル処理のみで実現でき、ループ遅延が小さいので高動作が可能となる。また、デジタル処理をすることにより後段のデジタル処理部分に直接取り込むことができ、アナログ処理による回路を減らすことができる。さらに、複素型フィルタ9には周波数誤差および位相誤差がない信号が入力されるので、より正確なスペクトル整形が可能となる。また、検波する前にA/D変換を行うので、A/D変換器が1だけでよい。

【0027】なお、実施の形態1では、複素型フィルタ9として、FIRフィルタを用いたが、これに代えてIIRフィルタを用いてもよい。

【0028】実施の形態1では、スペクトル整形とVSB復調とを行うために複素型フィルタ13を用いたが、これに代えてバンドパスフィルタ2を用いてもよい。

【0029】また、実施の形態1におけるローパスフィルタ10およびループフィルタ12については、VSB検波の性能を上げるために、クロック再生などの同期情報をもとにフィルタ特性を変化させてもよい。

【0030】さらに、実施の形態1では、VSB変調波のパイロット信号と数値制御発振器の出力信号の周波数ずれと位相ずれをもつ信号を検出するために逆ナイキストフィルタ53を用いたが、トラッキングする周波数範囲にかたよりができることを許容するならば、簡単なローパスフィルタを用いて実現することもできる。

【0031】（実施の形態2）図2は、本発明の実施の形態2のVSB復調器のブロック図である。図2に示すように、VSB復調器は、デジタルVSB変調されたRF信号を受信してIF信号に変換するチューナ1と、バンドパスフィルタ2と、チューナ出力のIF信号をより低い周波数帯に変換するダウンコンバータ3と、シンボル周波数の通信のクロックを発生するクロック発生器4と、アナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換器5と、受信信号の直交成分を作り出すヒルベルトフィルタ6と、受信信号の同相成分のタイミングを直交成分に合わせる遅延器7と、スペクトル整形とVSB復調を行う複素型フィルタ21と、VSB変調波に含まれるパイロット信号にトラッキングすることによりベースバンドに変換するパイロットトラッキング回路8とを備えている。

【0032】以上のように構成されたVSB復調器について、以下にその動作を説明する。まず、チューナ1がデジタルVSB変調されたRF信号を受信し、これをIF信号に変換してバンドパスフィルタ2に出力する。

バンドパスフィルタ2は、IF信号に含まれる余分なスプリアス信号を除去してダウンコンバータ3に出力する。ダウンコンバータ3は、IF信号をより低い周波数帯に変換し、これを第2のIF信号としてA/D変換器5に出力する。A/D変換器5は、クロック発生器4からシンボル周波数の通信のクロック信号を受け取り、このクロック信号のタイミングに合わせてアナログ信号であるIF信号をデジタル信号に変換し、遅延器7およびヒルベルトフィルタ6のそれぞれに出力する。なお、クロック発生器4は、クロック再生が行われたシンボル周波数の信号と同期した通信のシンボル周波数の信号をA/D変換器5に出力する。ヒルベルトフィルタ6は、入力されたデジタル信号、つまりIF信号に対する直交成分を作りだして複素型フィルタ21に出力する。遅延器7は、A/Dにより入力されるデジタル信号、つまりIF信号の同相成分を遅延させることにより、ヒルベルトフィルタ6から複素型フィルタ21に出力される直交成分にタイミングを合わせて同相成分を複素型フィルタ21に出力する。複素型フィルタ21は、遅延器7より入力される同相成分とヒルベルトフィルタ6より入力される直交成分とのそれぞれに対してスペクトル整形とVSB復調とを行い、パイロットトラッキング回路8にそれぞれ出力する。パイロットトラッキング回路8は、VSB変調波に含まれるパイロット信号にトラッキングすることにより同相成分および直交成分をベースバンド信号に変換してそれぞれ出力する。

【0033】次に、複素型フィルタ21の構成例を説明する。図8に示すように、複素型フィルタ21は、FIRフィルタのREAL部の係数61と、FIRフィルタのIMAGINE部の係数62とを備えている。

【0034】以上のように構成された複素型フィルタについて、以下に、その動作を説明する。VSB変調波の同相成分にFIRフィルタのREAL部の係数61が乗算され、VSB変調波の直交成分にFIRフィルタのIMAGINE部の係数62が乗算され、スペクトル整形とVSB復調が行われる。

【0035】複素型フィルタ21としては、例えば米国で現在行われているデジタル地上放送で使用される図11に示すような振幅特性を有するフィルタが適用でき、FIRフィルタの伝達関数は、ナイキスト第2基準のロールオフ特性とVSB変調波のためのナイキスト処理用特性を示している。なお、FIRフィルタを多重化構成としてもよい。

【0036】誤差検出器11については、実施の形態1と同じなので説明を省略する。

【0037】また、A/D変換器5に入力されるVSB変調波とクロック信号の周波数関係についても実施の形態1と同じである。

【0038】以上のように、本実施の形態のVSB変調器によれば、AFC、APCの動作をデジタル処理の

みで実現でき、ループ遅延が小さいので高速動作が可能となる。また、デジタル処理することにより後段のデジタル処理部に取り込むことができ、アナログ処理による回路を減らすことができる。さらに、ベースバンド信号に変換する前に複素型フィルタ21でフィルタリングされるので、隣接チャネルに妨害波がある場合に、より効果的に妨害波を抑制することができる。また、検波する前にA/D変換を行うので、A/D変換器が1つだけでよい。

【0039】なお、実施の形態2では、複素型フィルタ21としてFIRフィルタを用いたが、これに代えてIIRフィルタを用いてもよい。

【0040】実施の形態2では、スペクトル整形とVSB復調を行うために複素型フィルタ21を用いたが、これに代えてバンドパスフィルタ2を用いてもよい。

【0041】また、実施の形態2のローパスフィルタ10およびループフィルタ12については、VSB検波の性能を上げるために、クロック再生などの同期情報をもとにフィルタ特性を変化させてもよい。

【0042】さらに、実施の形態2では、VSB変調波のパイロット信号と数値制御発振器の出力信号の周波数ずれと位相ずれをもつ信号を検出するために逆ナイキストフィルタ53を用いたが、トラッキングする周波数範囲にかたよりができることを許容するならば、簡単なローパスフィルタを用いて実現することもできる。

【0043】(実施の形態3) 図3は、本発明の実施の形態3のVSB復調器のブロック構成図である。図3に示すように、VSB復調器は、デジタルVSB変調されたRF信号を受信しIF信号に変換するチューナ1と、バンドパスフィルタ2と、チューナ出力のIF信号をより低い周波数帯に変換するダウンコンバータ3と、シンボル周波数の逡倍のクロックを発生するクロック発生器4と、アナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換器5と、乗算器31、32と、スペクトル整形とVSB復調を行う複素型フィルタ33と、任意の周波数の信号を出力する数値制御発振器52と、逆ナイキストフィルタ53と、周波数ずれと位相ずれを検出する誤差検出器54と、ループフィルタ55とを備えている。

【0044】以上のように構成されたVSB復調器について、以下にその動作を説明する。まず、チューナ1がデジタルVSB変調されたRF信号を受信し、これをIF信号に変換してバンドパスフィルタ2に出力する。バンドパスフィルタ2は、IF信号に含まれる余分なサブキャリア信号を除去してダウンコンバータ3に出力する。ダウンコンバータ3は、IF信号をより低い周波数帯に変換し、これを第2のIF信号としてA/D変換器5に出力する。A/D変換器5は、クロック発生器4からシンボル周波数の逡倍のクロック信号を受け取り、このクロック信号のタイミングに合わせてアナログ信号であるIF信号をデジタル信号に変換し、乗算器31お

よび乗算器32にそれぞれ出力する。なお、クロック発生器4は、クロック再生が行われたシンボル周波数の信号と同期した逡倍のシンボル周波数の信号をA/D変換器5に出力する。乗算器31は、数値制御発振器52より入力される周波数信号のcos成分とデジタル信号化されたIF信号とを乗算することによりベースバンド信号に変換して複素型フィルタ33に出力する。また、乗算器32は、数値制御発振器52より入力される周波数信号のsin成分とデジタル信号化されたIF信号とを乗算することによりベースバンド信号に変換して複素型フィルタ33に出力する。複素型フィルタ33は、入力されるcos成分のベースバンド信号とsin成分のベースバンド信号とのそれぞれに対してスペクトル整形とVSB復調を行い、VSB復調データとして出力する。複素型フィルタ33から出力されるVSB復調データは、逆ナイキストフィルタ53、誤差検出器54、ループフィルタ55、数値制御発振器52を含むフィードバック部にも入力される。逆ナイキストフィルタ53は、VSB変調波に含まれるパイロット信号と数値制御発振器52の出力信号との周波数および位相のずれ成分を含む信号を誤差検出器54に出力する。誤差検出器54は、逆ナイキストフィルタ53より入力された信号に含まれる周波数および位相のずれを誤差としてそれぞれ検出し、その誤差情報をループフィルタ55に出力する。ループフィルタ55は、入力された誤差情報を平滑化して数値制御発振器52に制御信号として出力する。制御信号が入力されることにより数値制御発振器52がVSB変調波に含まれるパイロット信号にトラッキングする。パイロット信号にトラッキングした数値制御発振器52は、上述のように、パイロット信号の周波数を中心周波数として周波数信号のcos成分を乗算器31に、sin成分を乗算器32に出力する。

【0045】次に、複素型フィルタ33の構成例を図9を用いて説明する。図9に示すように、複素型フィルタ33は、FIRフィルタのREAL部の係数91A、91Bと、FIRフィルタのIMAG部の係数92A、92Bと、減算器93と、加算器94とを備えている。

【0046】以上のように構成された複素型フィルタ33について、以下にその動作を説明する。VSB変調波の同相成分にFIRフィルタのREAL部の係数91Aが乗算された信号と、VSB変調波の直交成分にFIRフィルタのIMAG部の係数92Bが乗算された信号とが減算器93に入力される。減算器93は、入力された同相成分から直交成分を減算することにより、スペクトル形成とVSB復調が行われたVSB復調データの同相成分を出力する。また、VSB変調波の同相成分にFIRフィルタのREAL部の係数91Bが乗算された信号と、VSB変調波の直交成分にFIRフィルタのIMAG部の係数92Aが乗算された信号とが加算器94に入力される。加算器94は、入力された同相成分と

直交成分とを加算することにより、スペクトル形成とVSB復調とが行われたVSB復調データの直交成分を出力する。

【0047】複素型フィルタ33としては、例えば米国で現在行われているデジタル地上波放送で使用される図10に示すような振幅特性を有するフィルタが適用でき、FIRフィルタの伝達関数は、ナイキスト第2基準のロールオフ特性とVSB変調のためのナイキスト処理用特性を示している。なお、FIRフィルタを多重化構成としてもよい。

【0048】誤差検出器54については、実施の形態1と同じなので説明を省略する。

【0049】また、A/D変換器5に入力されるVSB変調波とクロック信号の周波数関係についても実施の形態1と同じである。

【0050】以上のように、本実施の形態のVSB変調器によれば、AFC、APCの動作をデジタル処理のみで実現でき、ループ遅延が小さいので高連動作が可能となる。また、デジタル処理することにより後段のデジタル処理部分に直接取り込むことができるので、アナログ処理による回路を減らすことができる。さらに、複素型フィルタ33には周波数誤差および位相誤差のない信号が入力されるので、正確なスペクトル整形が可能である。また、検波する前にA/D変換を行うので、A/D変換器が1つだけでよい。さらに、複素乗算器の代わりに乗算器を用いるので、回路の規模を小さくすることができる。

【0051】なお、実施の形態3では、複素型フィルタ33としてFIRフィルタを用いたが、これに代えてIIRフィルタを用いてもよい。

【0052】実施の形態3では、スペクトル整形およびVSB復調を行うために複素型フィルタ33を用いたが、これに代えてバンドパスフィルタ2を用いてもよい。

【0053】また、実施の形態3のローパスフィルタ10およびループフィルタ12については、VSB検波の性能を上げるために、クロック再生などの同期情報をもとにフィルタ特性を変化させてもよい。

【0054】さらに、実施の形態3では、VSB変調波のパイロット信号と数値制御発振器の出力信号の周波数ずれと位相ずれをもつ信号を検出するために逆ナイキストフィルタ53を用いたが、トラッキングする周波数範囲にかたよりができることを許容するならば、簡単なローパスフィルタを用いて実現することもできる。

【0055】(実施の形態4) 図4は、本発明の実施の形態4のVSB復調器のブロック構成図である。図4に示すように、VSB復調器は、デジタルVSB変調されたRF信号を受信しIF信号に変換するチューナ1と、バンドパスフィルタ2と、シンボル周波数の通信のクロックを発生するクロック発生器4と、アナログ信号

をデジタル信号に変換するA/D変換器5と、受信信号の直交成分を作り出すヒルベルトフィルタ6と、受信信号の同相成分のタイミングを直交成分に合わせる遅延器7と、任意の周波数の信号を出力する数値制御発振器8と、複素型フィルタ9とを備えている。

【0056】以上のように構成されたVSB復調器について、以下にその動作を説明する。まず、チューナ1がデジタルVSB変調されたRF信号を受信し、これをIF信号に変換してバンドパスフィルタ2に出力する。バンドパスフィルタ2は、IF信号に含まれる余分なスプリアス信号を除去してA/D変換器5に出力する。A/D変換器5は、クロック発生器4からシンボル周波数の通信のクロック信号を受け取り、このクロック信号のタイミングに合わせてアナログ信号であるIF信号をデジタル信号に変換し、遅延器7およびヒルベルトフィルタ6のそれぞれに出力する。なお、クロック発生器4は、クロック再生が行われたシンボル周波数の信号と同期した通信のシンボル周波数の信号をA/D変換器5に出力する。ヒルベルトフィルタ6は、入力されたデジタル信号、つまりIF信号に対する直交成分を作り出してパイロットトラッキング回路8に出力する。遅延器7は、A/Dにより入力されるデジタル信号、つまりIF信号の同相成分を遅延させることにより、ヒルベルトフィルタ6からパイロットトラッキング回路8に出力される直交成分にタイミングを合わせて同相成分をパイロットトラッキング回路8に出力する。パイロットトラッキング回路8は、VSB変調波に含まれるパイロット信号にトラッキングすることにより、遅延器7より入力される同相成分とヒルベルトフィルタ6より入力される直交成分とのそれぞれをベースバンド信号に変換して複素型フィルタ9に出力する。複素型フィルタ9は、パイロットトラッキング回路8より入力された同相成分と直交成分とに対してスペクトル整形を行い、さらに、VSB復調を行ってVSB復調データとして出力する。

【0057】複素型フィルタ9については、実施の形態1と同じなので説明を省略する。

【0058】パイロットトラッキング回路8についても、実施の形態1と同じなので説明を省略する。

【0059】次に、A/D変換器5に入力されるVSB変調波とクロック信号の周波数関係の例を図14を用いて説明する。チューナ1で周波数変換されたIF信号は、一般的に中心周波数は44MHzである。また、米国デジタル地上波放送を想定した場合、シンボル周波数fsは10.762MHzであるので、クロック発生器4のクロック周波数を3fsとすると、A/D変換器5で変換されたデジタル信号は、図のように中心周波数が11.714MHzの信号に変換される。そのときのパイロット信号は14.404MHzとなるので、数値制御発振器52の中心周波数も14.404MHzとなる。

【0060】以上のように、本実施の形態のVSB変調器によれば、AFCとAPCの動作をデジタル処理のみで実現でき、ループ遅延が小さいので高連動作が可能となる。また、デジタル処理することにより後段のデジタル処理部分に取り込むことができるので、アナログ処理による回路を減らすことができる。さらに、複素型フィルタ9には、周波数誤差および位相誤差がない状態で信号が入力されるので、正確なスペクトル整形が可能となる。また、検波する前にA/D変換を行うので、A/D変換器が1つだけでよい。また、A/D変換器にはチューナの出力信号であるIF信号がそのまま入力されるので、第2のIF信号に周波数変換するダウンコンバータを設ける必要がない。

【0061】なお、実施の形態4では、複素型フィルタ9としてFIRフィルタを用いたが、これに代えてIIRフィルタを用いてもよい。

【0062】実施の形態4では、スペクトル整形およびVSB復調を行うために複素型フィルタ9を用いたが、これに代えてバンドパスフィルタ2を用いてもよい。

【0063】さらに、実施の形態4では、チューナ1の出力信号であるIF信号の中心周波数が、現在一般的に使用されている44MHzなのでクロック発生器4のクロック周波数を31sとしたが、クロック周波数は51sとしても良い。また、IF信号の周波数帯が変われば、そのIF信号に近い周波数で、かつ、シンボル周波数の逡倍のクロックがA/D変換器のクロックとする。

【0064】なお、第4の実施の形態では、クロック発生器4のクロック周波数をシンボル周波数の逡倍のクロックとしたが、逡倍以外の任意の周波数のクロックであっても、データを再生するときに補間してシンボルレートのデータを作り出せば実現可能である。

【0065】  
【発明の効果】上述のように、本発明のVSB変調器は、VSB復調にデジタル検波方式を用いているので、アナログ検波方式の場合に生じる $\pi/2$ 位相器に起因する直交性が解消されるとともに、アナログ回路ゆえの温度特性などの劣化要因もなくなる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1によるVSB復調器のブロック図。

【図2】本発明の実施の形態2によるVSB復調器のブロック図。

【図3】本発明の実施の形態3のVSB復調器のブロック図。

【図4】本発明の実施の形態4のVSB復調器のブロック図。

ク図。

【図5】実施の形態1および実施の形態4のパイロットトラッキング回路の構成を示す図。

【図6】逆ナイキストフィルタの振幅特性を示す図。

【図7】実施の形態1および実施の形態4の複素型フィルタの構成を示す図。

【図8】実施の形態2の複素型フィルタの構成を示す図。

【図9】実施の形態3の複素型フィルタの構成を示す図。

【図10】実施の形態1、実施の形態3、および、実施の形態4の複素型フィルタの振幅特性を示す図。

【図11】実施の形態2の複素型フィルタの振幅特性を示す図。

【図12】実施の形態1から実施の形態4の誤差検出器の説明図。

【図13】実施の形態1から実施の形態3のA/D変換器に入力されるVSB変調波とクロック信号の周波数関係の例を示す図。

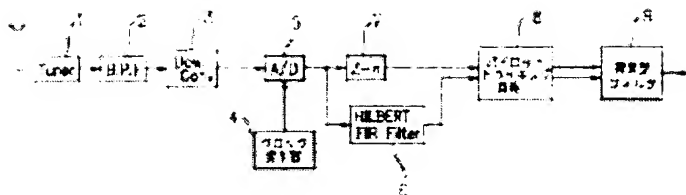
【図14】実施の形態4のA/D変換器に入力されるVSB変調波とクロック信号の周波数関係の例を示す図。

【図15】従来技術によるVSB復調器のブロック図。

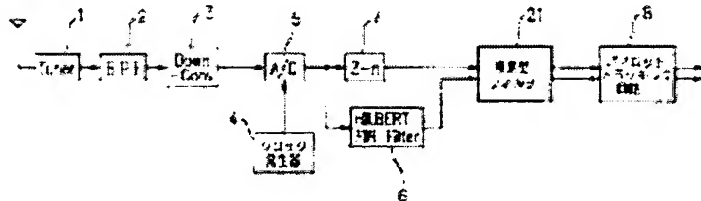
【符号の説明】

- 1 チューナ
- 2 バンドパスフィルタ
- 3 ダウンコンバータ
- 4 クロック発生器
- 5 A/D変換器
- 6 ヒルベルトフィルタ
- 7 遅延器
- 8 パイロットトラッキング回路
- 9、21、33 複素型フィルタ
- 31、32 乗算器（ベースバンド変換器）
- 51 複素乗算器（ベースバンド変換器）
- 52 数値制御発振器
- 53 逆ナイキストフィルタ
- 54 誤差検出器
- 55 ループフィルタ
- 71、81、91A、91B FIRフィルタのREAL部の係数
- 72、82、92A、92B FIRフィルタのIMAGE部の係数
- 73、93 減算器
- 94 加算器

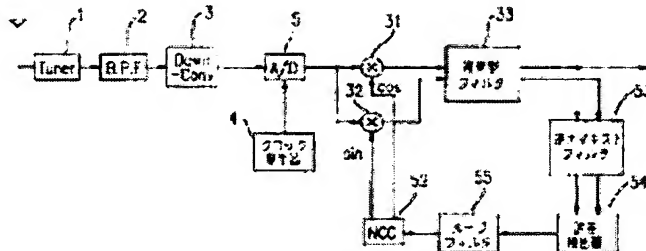
【図 1】



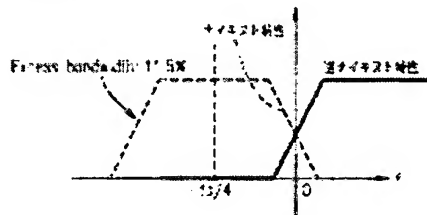
【図 2】



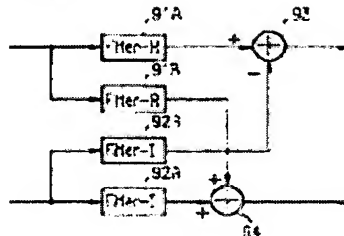
【図 3】



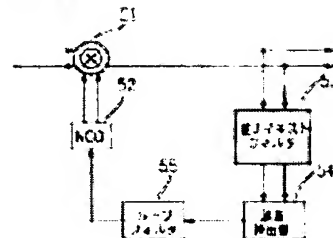
【図 6】



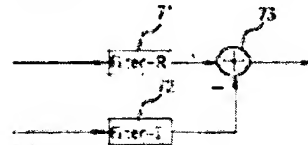
【図 9】



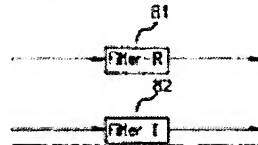
【図 5】



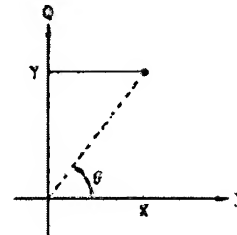
【図 7】



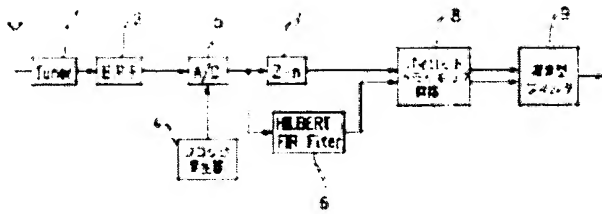
【図 8】



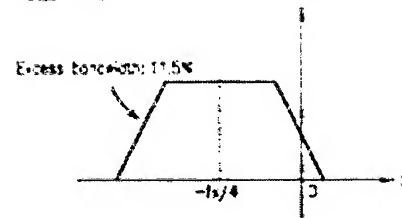
【図 12】



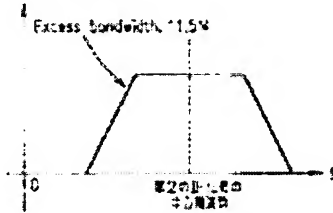
【図 4】



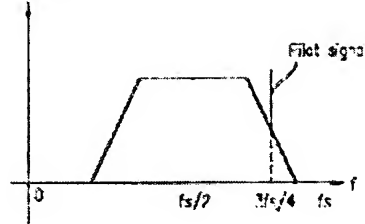
【図 10】



【図 11】



【図 13】



【図 14】



【図 15】

